



KOEHLER  
OPTICAL SYSTEM FOR PROVIDING A USEFUL  
LIGHT BEAM INFLUENCED BY POLARIZATION  
FILED: December 8, 2003  
SUGHRUE MION 202-293-7060  
1 of 1

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 102 58 732.9

**Anmeldetag:** 06. Dezember 2002

**Anmelder/Inhaber:** Carl Zeiss SMT AG, Oberkochen/DE

**Bezeichnung:** Optisches System zur Bereitstellung eines  
polarisationsbeeinflussten Nutzlichtstrahls

**IPC:** G 02 B, G 03 F

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 15. Oktober 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Faust

Anmelderin:

Carl Zeiss SMT AG  
Carl Zeiss Straße 22  
  
73447 Oberkochen

Unser Zeichen: P 41389 DE

05.12.2002

EW/fk

Optisches System zur Bereitstellung eines polarisationsbeeinflussten  
Nutzlichtstrahls

5

Die Erfindung bezieht sich auf ein optisches System zur Bereitstellung eines polarisationsbeeinflussten Nutzlichtstrahls, insbesondere auf optische Systeme, die einen Nutzlichtstrahl zur Waferbelichtung in mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlagen bereitstellen.

10

In dem genannten speziellen Anwendungsfall der Waferbelichtung werden im optischen System, das sich typischerweise aus einem Beleuchtungssystem vor der Retikel- bzw. Maskenebene und einem Projektionsobjektiv zwischen Retikelebene und Waferebene zusammensetzt,

15 häufig ein oder mehrere Umlenkspiegel verwendet. Bekanntermaßen wird p-polarisiertes Licht, d.h. parallel zur Einfallsebene linear polarisiertes Licht; bei der Reflexion an einem Umlenkspiegel stärker geschwächt als s-polarisiertes Licht, d.h. senkrecht zur Einfallsebene linear polarisiertes Licht. Andererseits ist es bei hohen Anforderungen an die Abbildungsqualität wünschenswert, dass die p-Komponente und die s-Komponente des Beleuchtungslichts in der Waferebene möglichst gleich  
20 groß sind.

Diese Problematik ist z.B. in der Offenlegungsschrift DE 198 51 749 A1 für den Fall eines katadioptrischen Objektivs mit mehreren Umlenkspiegeln angesprochen, worunter vorliegend auch entsprechende Umlenkprismen verstanden werden sollen. Als eine Abhilfe wird dort vorgeschlagen, die Umlenkspiegel polarisationsunabhängig kompensiert anzuordnen, speziell mit zueinander nicht-parallelen, insbesondere senkrechten, Einfallsebenen. Diese Abhilfemaßnahme eignet sich jedoch nur für Systeme mit mehreren Umlenkspiegeln, und der Aufbau des Beleuchtungssystems und Projektionsobjektivs im gesamten optischen System erlaubt nicht immer eine derartige Anordnung von Umlenkspiegeln mit nicht-parallelen Einfallsebenen. Die dort alternativ vorgeschlagene Maßnahme, für ein Objektiv mit mindestens einem Umlenkspiegel letzteren mit einer polarisationsspezifischen dünnen Schicht, insbesondere einer phasenkorrigierenden dielektrischen Schicht, zu versehen, ist für Anwendungen mit großen Strahldivergenzen und kleinen Wellenlängen nur schwierig zu realisieren.

In der Patentschrift US 5.475.491 ist ein Belichtungssystem offenbart, bei dem ein Teil des z.B. von einem Laser erzeugten Lichts durch Reflexion an einem halbdurchlässigen Spiegel zu einem Fotodetektor ausgekoppelt wird, während der vom halbdurchlässigen Spiegel transmittierte Lichtanteil den Nutzlichtstrahl zur Belichtung bildet. Mit dem Detektor soll die genaue Belichtungsdosis erfasst werden. Da jedoch der Reflexions- und Transmissionsgrad des halbdurchlässigen Spiegels für die s-polarisierte Komponente und die p-polarisierte Komponente jeweils unterschiedlich sind, kann vom Detektorergebnis nicht ohne weiteres auf die wahre Belichtungsdosis geschlossen werden, wenn der Polarisationszustand des ankommenden Lichts vor dem Umlenkspiegel nicht bekannt ist bzw. variiert. Als Abhilfe wird in den Strahlengang des ausgeblendeten Detektionslichts zwischen Umlenkspiegel und Detektor eine plane Transmissionsplatte schräg zur optischen Achse mit verstellbarem Neigungswinkel eingebracht. Dieser Neigungswinkel wird dann in Ab-

hängigkeit vom Transmissions- und Reflexionsgrad des halbdurchlässigen Spiegels für s- bzw. p-polarisiertes Licht so eingestellt, dass die am Detektor ankommende Lichtintensität unabhängig von den eventuell variierenden s-polarisierten bzw. p-polarisierten Lichtanteilen stets proportional zur Intensität des vom halbdurchlässigen Spiegel transmittierten Nutzlichts ist. Die relativen Anteile für die s- und die p-Komponente des Nutzlichts werden hierdurch nicht festgelegt und können je nach Auslegung des Systemteils vor dem halbdurchlässigen Spiegel beliebig variieren.

10

Der Erfindung liegt als technisches Problem die Bereitstellung eines optischen Systems der eingangs genannten Art zugrunde, das in der Lage ist, einen Nutzlichtstrahl mit gleichen oder jedenfalls vergleichsweise wenig differierenden Lichtanteilen zweier verschiedener Linearpolarisationszustände auch dann zur Verfügung zu stellen, wenn bereits das von einer zugehörigen Lichtquelle gelieferte Licht ein merkliches Ungleichgewicht dieser Lichtanteile aufweist oder ein solches Ungleichgewicht durch eine oder mehrere andere Systemkomponenten, wie z.B. Umlenkspiegel, verursacht wird.

20

Die Erfindung löst dieses Problem durch die Bereitstellung eines optischen Systems mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Dieses System weist eine Kompensationseinheit mit wenigstens einer zur optischen Achse geneigt in den Lichtstrahlengang eingebrachten Transmissionsplatte auf. Die Schrägstellung bewirkt, dass die Platte den Lichtanteil mit einem ersten Linearpolarisationszustand, z.B. s-polarisiertes Licht, in Transmission stärker schwächt als den Lichtanteil mit einem davon verschiedenen, zweiten Linearpolarisationszustand, z.B. p-polarisiertes Licht. Dies wird erfindungsgemäß dazu ausgenutzt, ein vom System ohne die Kompensationseinheit z.B. durch Umlenkspiegel verursachtes Ungleichgewicht der beiden Nutzlichtanteile vollständig oder jedenfalls teilweise zu kompensieren.

In einer Weiterbildung der Erfindung ist nach Anspruch 2 die Transmissionsplatte von einer transparenten Platte gebildet, die mit einer transmittierenden Beschichtung versehen ist. Mit einer geeignet gewählten Beschichtung lässt sich der Effekt, dass der Nutzlichtanteil mit dem ersten Linearpolarisationszustand in einem vom Lichteinfallswinkel abhängigen Maß stärker geschwächt wird als der Nutzlichtanteil mit dem zweiten Linearpolarisationszustand, in einer gewünschten Weise erreichen bzw. verstärken.

10 Einer Weiterbildung der Erfindung nach Anspruch 3 liegt ein System zugrunde, das einen oder mehrere Umlenkspiegel aufweist, die das Ungleichgewicht der beiden Nutzlichtanteile verursachen. Der Neigungswinkel und/oder die Beschichtung der Transmissionsplatte sind in Abhängigkeit von der Größe dieses Ungleichgewichts gewählt, bevorzugt  
15 im Sinne einer vollständigen Kompensation. Gemäß Anspruch 4 kann eine Messeinrichtung zur Bestimmung des Polarisationsgrades im Strahlengang nach dem oder den Umlenkspiegeln vorgesehen sein, mit der das besagte Ungleichgewicht der beiden Nutzlichtanteile gemessen werden kann, um in Abhängigkeit vom Messergebnis den Neigungswinkel bzw. die Beschichtung geeignet zu steuern, bei Bedarf auch noch  
20 nachträglich, nachdem zuvor eine bestimmte Voreinstellung gewählt wurde. Einer weiteren Ausgestaltung dieser Maßnahme liegt nach Anspruch 5 als optisches System ein Abbildungssystem zugrunde, bei dem die Transmissionsplatte und ein Umlenkspiegel wenigstens annähernd  
25 in zueinander konjugierten Ebenen des Abbildungssystems angeordnet sind. Dadurch liegen einander ähnliche Lichteinfallsbedingungen, insbesondere Inzidenzwinkelverteilungen, für die Transmissionsplatte einerseits und den Umlenkspiegel andererseits vor, was eine gegebenenfalls ortsabhängige Polarisationskompensation erleichtert.

30 Bei nichtkonstanter Inzidenzwinkelverteilung des auf einen Umlenkspiegel des Systems einfallenden Nutzlichts ergibt sich ein entsprechend

ortsabhängiges Ungleichgewicht der beiden Nutzlichtanteile mit unterschiedlichem Linearpolarisationszustand. Eine Ausgestaltung der Erfindung nach Anspruch 6 erlaubt auch für diesen Fall eine im wesentlichen vollständige Kompensation dieses Ungleichgewichts, indem die Beschichtung dementsprechend ortsabhängig variabel auf die transparente Platte aufgebracht ist.

Einer Weiterbildung der Erfindung nach Anspruch 7 liegt ebenfalls ein Abbildungssystem als das optische System zugrunde. Die Kompensationseinheit weist dabei eine zweite Transmissionsplatte auf, die in den Nutzlichtstrahlengang schräg zur optischen Achse mit einem Neigungswinkel eingebracht ist, der zu demjenigen der anderen Transmissionsplatte entgegengesetzt ist. Dadurch lassen sich asymmetrische Bildfehler ganz oder teilweise kompensieren, die durch das schräge Einbringen der einen Transmissionsplatte in das Abbildungssystem verursacht werden. Für eine im wesentlichen vollständige Kompensation sind zweckmäßigerweise beide Transmissionsplatten gleich dimensioniert und mit entgegengesetzt gleich großen Neigungswinkeln angeordnet.

Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden nachfolgend beschrieben. Hierbei zeigen:

Fig. 1 eine schematische Seitenansicht eines Teils eines optischen Systems für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage,

Fig. 2 eine Längsschnittansicht eines Objektivs für ein Beleuchtungssystem einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage,

Fig. 3 ein Kennliniendiagramm des Reflexionsgrades in Abhängigkeit vom Einfallswinkel für einen im Objektiv von Fig. 2 verwendeten Umlenkspiegel,

5 Fig. 4 ein Kennliniendiagramm des Transmissionsgrades in Abhängigkeit vom Einfallswinkel für eine erste Realisierung einer in das Objektiv von Fig. 2 eingebrachten Transmissionsplatte,

10 Fig. 5 ein Kennliniendiagramm entsprechend Fig. 4, jedoch für eine zweite Realisierung der Transmissionsplatte, und

Fig. 6 eine Längsschnittansicht eines anderen Objektivs für ein Beleuchtungssystem einer mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage.

15

In Fig. 1 ist schematisch die Problematik der unterschiedlichen Schwächung von s-polarisiertem Licht und p-polarisiertem Licht durch Umlenkspiegel und die Behebung des dadurch verursachten Ungleichgewichts der Intensität von s- und p-polarisierter Komponente am Beispiel eines optischen Abbildungssystems für eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage veranschaulicht. Bekanntermaßen besteht ein solches Abbildungssystem aus einem Beleuchtungssystem vor einer Retikel-/Maskenebene 1, um Licht zur Durchleuchtung einer dort eingebrachten Maske bereitzustellen, und einem Projektionsobjektiv zwischen Retikelebene 1 und Waferebene 2, um die Maskenstruktur auf einen in die Waferebene 2 eingebrachten Wafer abzubilden. Je nach Systemauslegung sind im Beleuchtungssystem und/oder im Projektionsobjektiv Umlenkspiegel vorhanden, z.B. zur Erzielung eines kompakten Systemaufbaus.

30

Im Beispiel von Fig. 1 sind ein erster Umlenkspiegel 3 im Beleuchtungssystem und zwei Umlenkspiegel 4, 5 im Projektionsobjektiv vorgesehen,

jeweils als 45°-Umlenkspiegel. Im Projektionsobjektiv dienen die beiden Umlenkspiegel 4, 5 z.B. zur Realisierung eines katadioptrischen Aufbaus, schematisch angedeutet durch einen Reflexionsspiegel 6. Die übrigen Systemkomponenten, wie Linsen etc., sind in Fig. 1 der Übersichtlichkeit halber weggelassen, da sie hinsichtlich der unterschiedlichen Schwächung von s- und p-polarisiertem Licht keine Rolle spielen.

Die drei Umlenkspiegel 3, 4, 5 sind so angeordnet, dass ihre Ebenennormalen alle in einer Ebene, der Zeichenebene von Fig. 1, liegen. In dieser Ebene liegt auch die optische Achse des Systems, repräsentiert durch einen Hauptlichtstrahl 7, der stellvertretend für das gesamte Lichtstrahlenbündel gezeigt ist. Diese Ebene bildet folglich eine gemeinsame Einfallsebene für alle drei Umlenkspiegel 3, 4, 5. Die relativen Amplituden bzw. Intensitätsanteile an s-polarisiertem Licht, d.h. senkrecht zur Einfallsebene polarisiertem Licht, und an dazu senkrecht polarisiertem, d.h. p-polarisiertem, Licht sind wie üblich durch die Länge eines zu p-polarisiertem Licht gehörigen Pfeils und den Durchmesser eines zu s-polarisiertem Licht gehörigen Doppelkreises veranschaulicht.

Wie aus Fig. 1 zu erkennen, sei ohne Beschränkung der Allgemeinheit angenommen, dass das Licht an der Ausgangsseite einer Blende 8 des Beleuchtungssystems gleich große Anteil von s- und p-polarisiertem Licht aufweist. Des weiteren ist aus einem Vergleich von einfallendem und reflektiertem Licht ersichtlich, dass jeder Umlenkspiegel 3, 4, 5 den p-polarisierten Lichtanteil mit gegenüber dem s-polarisierten Lichtanteil deutlich stärkerer Schwächung umlenkt (Verkürzung der zugehörigen p-Pfeile bei im wesentlichen gleichbleibendem Durchmesser der s-Kreise in Fig. 1). Ohne weitere Maßnahmen würde daher das auf Waferebene 2 bereitgestellte Nutzlicht einen gegenüber dem s-polarisierten Anteil deutlich reduzierten p-polarisierten Lichtanteil enthalten.



- Um dieses Ungleichgewicht von s- und p-polarisiertem Lichtanteil zu vermeiden, ist in den Strahlengang des Nutzlichts 7 ein Kompensationselement in Form einer Transmissionsplatte 9 eingebracht, die bevorzugt als wenigstens einseitig beschichtete Planplatte realisiert ist. Die Transmissionsplatte 9 ist ebenfalls mit in der Einfallsebene liegender Ebenen-  
normale angeordnet, wobei sie mit ihrer Ebene um einen vorgebbaren Neigungswinkel  $\beta$  gegenüber der zur optischen Achse senkrechten Ebene geneigt ist. Mit anderen Worten ist die Transmissionsplatte 9 gegenüber dieser Ebene um die zur s-Polarisationsrichtung parallele Achse gekippt. Dieses zur optischen Achse 7 schräge Anordnen der Transmissionsplatte 9 hat zur Folge, dass der s-polarisierte Anteil des durch sie hindurchtretenden Lichts merklich geschwächt wird, während der p-polarisierte Lichtanteil deutlich weniger geschwächt durchtritt.
- Das Material und die Dimensionierung der Transmissionsplatte 9 und speziell der Beschichtung, insbesondere hinsichtlich ihres Brechungsindex und ihrer Dicke, und der Neigungswinkel  $\beta$  sind in Abhängigkeit von der Größe des ohne die Transmissionsplatte 9 bestehenden Ungleichgewichts von s- und p-polarisiertem Licht so gewählt, dass der Grad an relativer Schwächung des s-polarisierten Lichts durch die Transmissionsplatte 9 ganz oder jedenfalls weitgehend dem Maß an relativer Schwächung des p-polarisierten Lichts durch die Umlenkspiegel 3, 4, 5 entspricht. Dementsprechend wird das durch die Umlenkspiegel 3, 4, 5 verursachte Ungleichgewicht von s- und p-polarisiertem Licht durch die Transmissionsplatte 9 ganz oder jedenfalls teilweise kompensiert. Je nach Bedarf ist auch eine Überkompensation möglich. Das Ungleichgewicht kann z.B. durch eine herkömmliche Messeinrichtung zur Bestimmung des Polarisationsgrades erfasst werden, die hinter dem im Strahlengang letzten Umlenkspiegel 5 angeordnet wird. Der Neigungswinkel  $\beta$  und/oder die Beschichtung werden dann abhängig vom Messergebnis in gewünschter Weise eingestellt und bei Bedarf nachgeregelt.

Dementsprechend stellt das mit der Transmissionsplatte 9 ausgerüstete optische System einen Nutzlichtstrahl, hier zur Waferbelichtung, zur Verfügung, dessen s-polarisierter Lichtanteil auf ein gewünschtes Maß relativ zum p-polarisierten Lichtanteil einstellbar ist, wobei eine Schwächung des p-polarisierten Lichtanteils, der durch Umlenkspiegel oder andere Systemkomponenten verursacht wird, je nach Anwendungsfall genau kompensiert, unter- oder überkompensiert wird. Die Kompensationswirkung der Transmissionsplatte 9 kann während ihrer Fertigung speziell durch die Materialwahl sowie die Art und Dicke einer optional aufgetragenen Beschichtung beeinflusst werden, bei Bedarf ortsabhängig variabel. Im Einsatz der Transmissionsplatte 9 kann die Kompensationswirkung durch die Wahl eines entsprechenden Neigungswinkels  $\beta$  auf einen jeweils gewünschten Wert eingestellt werden.

Fig. 2 zeigt ein in der Praxis realisiertes Ausführungsbeispiel in Form eines in einem Beleuchtungssystem gemäß Fig. 1 verwendeten Objektivs 10, auch ReMa-Objektiv bezeichnet, das den ersten, beleuchtungssystemseitigen Umlenkspiegel 3 von Fig. 1 und die Transmissionsplatte 9 beinhaltet. Dieses Objektiv besitzt einen mit Ausnahme der zusätzlichen Transmissionsplatte 9 herkömmlichen Aufbau aus diversen, schematisch wiedergegebenen Optikkomponenten, insbesondere Linsen und Blenden sowie dem Umlenkspiegel 3, deren optische Wirkung anhand der eingezeichneten Strahlverläufe deutlich wird und die hier keinerlei näheren Erläuterung bedürfen. Bevorzugt sind die Transmissionsplatte 9 und der Umlenkspiegel 3 näherungsweise auf Höhe konjugierter Ebenen des Objektivs 10 angeordnet. Dadurch liegen ähnliche Inzidenzwinkelverteilungen für die Transmissionsplatte 9 und den Umlenkspiegel 3 vor, so dass eine über die gesamte durchstrahlte Fläche der Transmissionsplatte 9 hinweg ortsabhängig gleichförmige Beschichtung genügt, um eine gleichmäßige, bevorzugt vollständige Kompensation des Ungleichgewichts von s- und p-polarisiertem Lichtanteil an allen Feldpunkten des gesamten Feldbereichs des Objektivs 10 zu erreichen.

Wenn sich die Inzidenzwinkelverteilungen nicht so ähnlich sind, dass mit einer gleichförmigen Planplattenbeschichtung die gewünschte Kompensation an allen Feldpunkten erreicht werden kann, kann alternativ eine ortsabhängig variable Beschichtung für die Transmissionsplatte 9 derart vorgesehen sein, dass die örtliche Beschichtungsvariation an jedem Feldpunkt der Variation der Inzidenzwinkelverteilung entspricht, d.h. die Transmissionsplatte 9 kompensiert für jeden Feldpunkt die vom Umlenkspiegel 3 verursachte ortsabhängige Schwächung des p-polarisierten Lichtanteils durch eine vorzugsweise gleich große ortsabhängige Schwächung des s-polarisierten Lichtanteils. Analoges gilt für den Fall, dass die Transmissionsplatte 9 die Schwächungswirkung mehrerer Umlenkspiegel zu kompensieren hat, wie im Beispiel von Fig. 1. Alternativ kann jedem Umlenkspiegel jeweils eine schräg eingebrachte Transmissionsplatte zugeordnet sein.

Die quantitative Bestimmung der Parameter der Transmissionsplatte 9, insbesondere hinsichtlich der Beschichtung und des Neigungswinkels  $\beta$ , zur oben erläuterten Kompensation des durch den Umlenkspiegel 3 verursachten Ungleichgewichts von s- und p-Polarisationsanteil im Nutzlichtstrahlengang wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Fig. 3 bis 5 erläutert.

Fig. 3 zeigt den typischen Verlauf der Kennlinien des Reflektionsgrads eines Umlenkspiegels, wie des Umlenkspiegels 3 der Fig. 1 und 2, in Abhängigkeit vom Einfallswinkel für p-polarisiertes Licht (durchgezogene Kennlinie) einerseits und s-polarisiertes Licht (gestrichelte Kennlinie) andererseits. In punktierten Grenzen ist ein typischer Arbeitsbereich  $A_U$  für einen  $45^\circ$ -Umlenkspiegel angegeben. In diesem Beispielfall sind die Inzidenzwinkel zwischen etwa  $36^\circ$  und  $54^\circ$  um den mittleren Wert von  $45^\circ$  verteilt. Wie aus Fig. 3 ersichtlich, steigt die Differenz zwischen dem Reflektionsgrad für s-polarisiertes Licht und demjenigen für p-polarisiertes Licht mit zunehmendem Einfallswinkel stetig an und damit

der Unterschied in der Polarisationschwächung von p-polarisiertem Licht relativ zu s-polarisiertem Licht. Über den Arbeitsbereich  $A_U$  hinweg nimmt dieser Unterschied im Reflektionsgrad und damit der Polarisationschwächung von einem minimalen Wert  $\Delta_{U0}$  bis zum einem maximalen Wert  $\Delta_{U0}$  mit einem mittleren Wert  $\Delta_U$  beim mittleren Einfallswinkel von  $45^\circ$  zu.

Fig. 4 zeigt den Transmissionsgrad in Abhängigkeit vom Einfallswinkel für eine Realisierung der Transmissionsplatte 9 als Planplatte, die mit einer Beschichtung versehen ist, die eine Dicke von 30nm und einen Brechungsindex von 1,45 aufweist, und zwar wiederum für p-polarisiertes Licht (durchgezogene Kennlinie) einerseits und s-polarisiertes Licht (gestrichelte Kennlinie) andererseits. Wie daraus ersichtlich, nimmt der Transmissionsgrad für s-polarisiertes Licht im betrachteten Bereich stetig ab, während er für p-polarisiertes Licht zunächst sogar noch leicht zunimmt, d.h. die Transmissionsplatte 9 schwächt den s-polarisierten Lichtanteil relativ zum p-polarisierten Lichtanteil mit zunehmendem Einfallswinkel im betrachteten Einfallswinkelbereich immer stärker.

Daher ist es stets möglich, einen in Fig. 4 durch gepunktete Grenzen angedeuteten Arbeitsbereich  $A_{T1}$  für die Transmissionsplatte 9 zu finden, der zu einer weitestgehend vollständigen Kompensation des vom Umlenkspiegel 3 verursachten Polarisationsungleichgewichts für die hier auftretenden Inzidenzwinkel führt. Zunächst wird dazu der Neigungswinkel  $\beta$  so ermittelt, dass der sich für ihn ergebende Unterschied  $\Delta_{T1}$  im Transmissionsgrad der Transmissionsplatte 9 und damit in deren Polarisationschwächung von p- und s-polarisiertem Licht dem Unterschied  $\Delta_U$  im Reflektionsgrad des Umlenkspiegels 3 und damit in dessen Polarisationschwächung von s- und p-polarisiertem Licht beim gewählten Kippwinkel von  $45^\circ$ , dem mittleren Inzidenzwinkel, entspricht. Mit diesem

Neigungswinkel  $\beta$  von in diesem Fall ca.  $30^\circ$  wird die Transmissionsplatte 9 in den Nutzlichtstrahlengang eingebracht.


Wenn Transmissionsplatte 9 und Umlenkspiegel 3 in konjugierten Ebenen des Objektivs von Fig. 2 liegen, korrespondiert zum Umlenkspiegel-Arbeitsbereich  $A_U$  der Transmissionsplatten-Arbeitsbereich  $A_{T1}$  um den Neigungswinkel  $\beta$ , wobei im gezeigten Beispiel von Fig. 4 dieser Arbeitsbereich  $A_{T1}$  von etwa  $24^\circ$  bis etwa  $36^\circ$  reicht. Der sich für diesen Arbeitsbereich  $A_{T1}$  ergebende minimale Unterschied  $\Delta_{T1u}$  und maximale Unterschied  $\Delta_{T1o}$  in der Polarisationschwächung durch die Transmissionsplatte 9 entspricht dann ebenfalls betraglich weitestgehend dem relativen minimalen Schwächungswert  $\Delta_{Uu}$  bzw. dem maximalen Schwächungswert  $\Delta_{Uo}$  des Umlenkspiegels 3. Dies macht deutlich, dass hier eine gleichförmige Beschichtung der Transmissionsplatte 9 für eine über das gesamte relevante Bildfeld des Objektivs hinweg gleichmäßige Kompensation der unterschiedlichen Schwächung von s- und p-polarisiertem Licht aufgrund des Umlenkspiegels 3 ausreicht. Speziell gilt dies, wenn die Einfallswinkel an den verschiedenen Punkten des Umlenkspiegels 3 weitgehend gleich sind, so dass dann der vom Umlenkspiegel 3 induzierte Polarisationschwächungsunterschied für s-polarisiertes Licht bzw. p-polarisiertes Licht in der betreffenden Ebene näherungsweise konstant ist.


Bei Variationen der Inzidenzwinkelverteilung und/oder bei einer Abweichung der Position der Transmissionsplatte 9 von einer zu dem oder den Umlenkspiegeln 3 konjugierten Ebene lässt sich eine über das gesamte Bildfeld hinweg weitestgehend gleichmäßige und vollständige Kompensation dadurch erreichen, dass die Beschichtung entsprechend ortsabhängig unterschiedlich auf die Planplatte aufgebracht wird, insbesondere hinsichtlich ihrer Dicke und/oder ihres Materials.

Fig. 5 veranschaulicht die Abhängigkeit des Transmissionsgrads vom Einfallswinkel für eine zweite Realisierung der Transmissionsplatte 9 in Form einer Planplatte mit einer Beschichtung, die eine Dicke von 30nm und einen Brechungsindex von 1,65 aufweist, wiederum einerseits für p-polarisiertes Licht (durchgezogene Kennlinie) und andererseits für s-polarisiertes Licht (gestrichelte Kennlinie). Qualitativ entsprechen die Kennlinienverläufe denjenigen von Fig. 4, der Unterschied zwischen p- und s-polarisiertem Licht ist jedoch bei gleichem Einfallswinkel geringer. Daher ergibt sich in diesem Fall ein größerer Neigungswinkel  $\beta$  von etwa 47°, bei dem der relative Schwächungsunterschied  $\Delta_{T2}$  betraglich dem mittleren Polarisationschwächungsunterschied  $\Delta_U$  des Umlenkspiegels 3 entspricht. Dem Umlenkspiegel-Arbeitsbereich  $A_U$  entspricht in diesem Fall ein Transmissionsplatten-Arbeitsbereich  $A_{T2}$  von etwa 40° bis etwa 54°. Wiederum entsprechen der daraus resultierende minimale Polarisationschwächungsunterschied  $\Delta_{T2u}$  und maximale Polarisationschwächungsunterschied  $\Delta_{T2o}$ , wie sie durch diesen Transmissionsplatten-Arbeitsbereich  $A_{T2}$  gegeben sind, betraglich weitestgehend dem minimalen bzw. maximalen Polarisationschwächungsunterschied  $\Delta_{Uu}$ ,  $\Delta_{Uo}$  des Umlenkspiegels 3.

Durch das Einbringen der gekippten Transmissionsplatte 9 in ein Abbildungssystem, wie das abbildende Objektiv von Fig. 2, können sich Abbildungsfehler ergeben, die nicht rotationssymmetrisch zur optischen Achse sind und daher von den Linsenelementen des Systems nicht ohne weiteres kompensiert werden können. Wenn die Transmissionsplatte relativ dünn ist, sind diese Bildfehler eventuell vernachlässigbar. Um besonders bei Verwendung einer Transmissionsplatte mit merklicher Dicke eine Kompensation der asymmetrischen Bildfehler zu bewirken, kann eine weitere Transmissionsplatte gleicher Dimensionierung in den Nutzlichtstrahlengang eingebracht werden, die gegenüber der zur optischen Achse senkrechten Ebene um die gleiche Achse, jedoch entgegengesetzt zur anderen, ersten Transmissionsplatte geneigt ist. Beide Platten

sind vorzugsweise nur durch einen Luftraum getrennt. Bevorzugt, aber nicht zwingend, sind beide Neigungswinkel betraglich gleich groß gewählt.

- 5 Eine solche Realisierung ist in Fig. 6 für den Fall des Objektivs von Fig. 2 angegeben. Zusätzlich zum Aufbau von Fig. 2 ist hinter der Transmissionsplatte 9, die mit dem Neigungswinkel  $\beta$  angeordnet ist, eine zweite, gleich dimensionierte Transmissionsplatte 11 mit entgegengesetzt gleich großem Neigungswinkel  $\beta$  gegenüber der zur optischen Achse senkrechten Ebene verkippt im Nutzstrahlengang angeordnet. Bevorzugt ist in diesem Fall die Transmissionsplattenbeschichtung so gewählt, dass
- 10  mäßig große Neigungswinkel  $\beta$  genügen, so dass beide Transmissionsplatten 9, 11 unbehindert hintereinander im ansonsten unveränderten Objektiv 10' positioniert werden können. Zur Kompensationswirkung
- 15 hinsichtlich Polarisationschwächung können in diesem Ausführungsbeispiel beide Transmissionsplatten 9, 11 beitragen, die vorzugsweise gleichartig beschichtet sind.

- Wie die oben beschriebenen Ausführungsbeispiele deutlich machen,
- 20  stellt die Erfindung ein optisches System zur Verfügung, das einen Nutzlichtstrahl liefert, der trotz Vorhandenseins eines oder mehrerer Umlenkspiegel oder anderer optischer Komponenten, welche zwei verschiedene Linearpolarisationszustände unterschiedlich schwächen, ausgangsseitig einen Nutzlichtstrahl liefert, bei dem die Lichtanteile beider Linearpolari-
- 25 sationszustände in einem gewünschten Verhältnis zueinander stehen, vorzugsweise im wesentlichen gleich groß sind. Dazu ist eine Kompensationseinheit mit wenigstens einer schräg in den Strahlengang eingebrachten Transmissionsplatte vorgesehen, die dieses Verhalten des übrigen optischen Systemteils ganz oder teilweise kompensiert.

30

Durch die Wahl des Materials und des Neigungswinkels der Transmissionsplatte und einer optimalen Beschichtung kann das Intensitätsverhält-

nis der Nutzlichtanteile der beiden Linearpolarisationszustände auf einen gewünschten Wert eingestellt werden. Die Transmissionsplatte ist bevorzugt um eine zur Kippachse des jeweiligen Umlenkspiegels parallele Achse geneigt. Noch im Betrieb kann eine Feineinstellung der Kompensationswirkung durch entsprechendes Variieren des Neigungswinkels durchgeführt werden. Bei Verwendung in Abbildungssystemen ist eine Positionierung der Transmissionsplatte in einer zur Ebene eines Umlenkspiegels konjugierten Ebene von Vorteil. Unterschiedliche Inzidenzwinkelverteilungen für den jeweiligen Umlenkspiegel einerseits und die Transmissionsplatte andererseits können bei Bedarf durch eine ortsabhängig über die bestrahlte Plattenfläche hinweg variable Beschichtung ganz oder teilweise kompensiert werden. Eventuelle, von der Transmissionsplatte verursachte asymmetrische Bildfehler können bei Verwendung in Abbildungssystemen durch Anordnen einer gleichartigen zweiten Transmissionsplatte mit entgegengesetzt gleich großem Neigungswinkel kompensiert werden.

Für Objektive mit Umlenkspiegel, wie sie im Beleuchtungssystem und als Projektionsobjektiv in mikrolithographischen Belichtungsanlagen verwendet werden, lässt sich auf diese Weise erreichen, dass in der Masken- und insbesondere in der Waferebene Licht zur Verfügung steht, dessen s-polarisierte Komponente und p-polarisierte Komponente mit im wesentlichen gleicher Intensität vorliegen. Insbesondere lässt sich mit dieser Maßnahme eine Kompensation auch für Systeme mit ungerader Anzahl von Umlenkspiegel und für Systeme erreichen, bei denen mehrere Umlenkspiegel mit gemeinsamer Einfallsebene, d.h. parallelen Kippachsen, angeordnet sind. Es versteht sich, dass die Erfindung nicht nur für mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlagen, sondern auch für beliebig andere optische Systeme einsetzbar ist, die einen Nutzlichtstrahl unter Verwendung einer oder mehrerer optischer Komponenten bereitstellen, die zwei verschiedene Linearpolarisationszustände des Nutzlichtstrahls unterschiedlich schwächen.



### Patentansprüche

1.     Optisches System zur Bereitstellung eines Nutzlichtstrahls mit
  - einer oder mehreren Optikkomponenten (3, 4, 5), die einen Nutzlichtanteil mit einem ersten Linearpolarisationszustand weniger schwächen als einen Nutzlichtanteil mit einem vom ersten verschiedenen zweiten Linearpolarisationszustand, gekennzeichnet durch
    - eine Kompensationseinheit mit einer Transmissionsplatte (9), die um einen vorgebbaren Neigungswinkel ( $\beta$ ) bezüglich der zur optischen Achse senkrechten Ebene geneigt in den Nutzlichtstrahlengang (7) eingebracht ist und den Nutzlichtanteil mit dem ersten Linearpolarisationszustand stärker schwächt als den Nutzlichtanteil mit dem zweiten Linearpolarisationszustand.
2.     Optisches System nach Anspruch 1, weiter dadurch gekennzeichnet, dass die Transmissionsplatte aus einer transparenten Planplatte mit einer transmittierenden Beschichtung besteht, die den Nutzlichtanteil mit dem ersten Linearpolarisationszustand in einem vom Lichteinfallswinkel abhängigen Maß stärker schwächt als den Nutzlichtanteil mit dem zweiten Linearpolarisationszustand.
3.     Optisches System nach Anspruch 1 oder 2, weiter dadurch gekennzeichnet, dass es einen oder mehrere Umlenkspiegel (3, 4, 5) aufweist und der Neigungswinkel ( $\beta$ ) und/oder eine transmittierende Beschichtung der Transmissionsplatte in Abhängigkeit von der Größe des von dem oder den Umlenkspiegeln verursachten Ungleichgewichts der Intensität beider Nutzlichtanteile gewählt sind.
4.     Optisches System nach Anspruch 3, weiter dadurch gekennzeichnet, dass es eine Messeinrichtung zur Bestimmung des Polarisationsgrades nach dem oder den Umlenkspiegeln (3, 4, 5) aufweist und der

Neigungswinkel ( $\beta$ ) und/oder die Beschichtung der Transmissionsplatte in Abhängigkeit der von der Messeinrichtung gemessenen Intensität der beiden Nutzlichtanteile eingestellt wird.

5. Optisches System nach Anspruch 3 oder 4, weiter dadurch gekennzeichnet, dass es ein Abbildungssystem ist und die Transmissionsplatte und ein Umlenkspiegel in wenigstens annähernd zueinander konjugierten Ebenen des Abbildungssystems angeordnet sind.

6. Optisches System nach einem der Ansprüche 3 bis 5, weiter dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung in Abhängigkeit von einer Inzidenzwinkelverteilung des auf den Umlenkspiegel einfallenden Nutzlichts ortsabhängig variabel auf die Transmissionsplatte aufgebracht ist.

7. Optisches System nach einem der Ansprüche 1 bis 6, weiter dadurch gekennzeichnet, dass es ein Abbildungssystem ist und die Kompensationseinheit eine weitere Transmissionsplatte (11) aufweist, die in den Nutzlichtstrahlengang bezüglich der zur optischen Achse senkrechten Ebene um einen Neigungswinkel geneigt eingebracht ist, der demjenigen der anderen Transmissionsplatte entgegengesetzt ist.

-----

Zusammenfassung

1.     Optisches System zur Bereitstellung eines polarisationsbeeinflussten Nutzlichtstrahls.

5     2.1.   Die Erfindung bezieht sich auf ein optisches System zur Bereitstellung eines Nutzlichtstrahls mit einer oder mehreren Optikkomponenten (3, 4, 5), die einen Nutzlichtanteil mit einem ersten Linearpolarisationszustand weniger schwächen als einen Nutzlichtanteil mit einem davon verschiedenen zweiten Linearpolarisationszustand.

15     2.2.   Erfindungsgemäß ist eine Kompensationseinheit vorgesehen, die eine in den Nutzlichtstrahlengang (7) zur optischen Achse geneigt eingebrachte Transmissionsplatte (9) umfasst, welche den Nutzlichtanteil mit dem ersten Linearpolarisationszustand stärker schwächt als denjenigen mit dem zweiten Linearpolarisationszustand, so dass das vom System ohne Kompensationseinheit verursachte Ungleichgewicht beider Nutzlichtanteile ganz oder jedenfalls teilweise kompensiert werden kann.

20

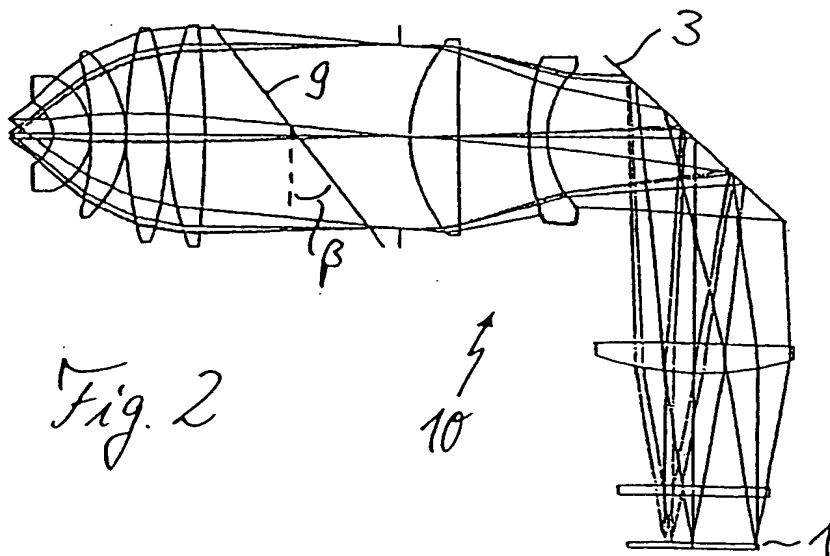
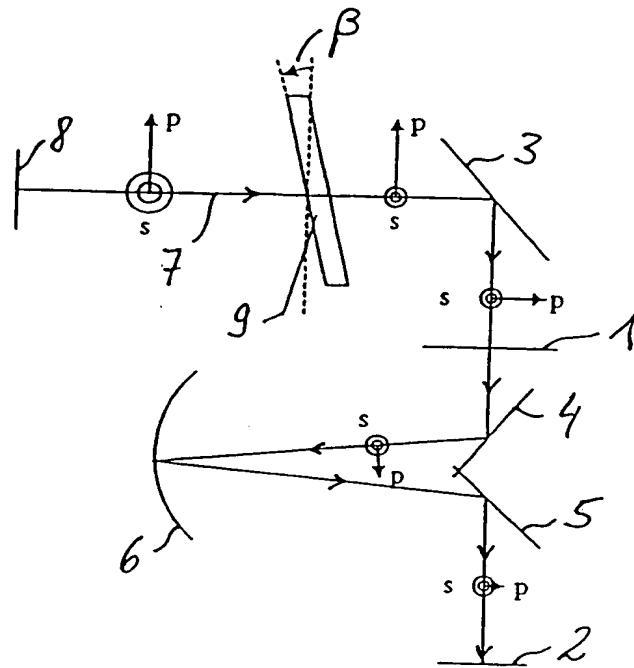
2.3.   Verwendung z.B. in Beleuchtungssystemen und Projektionsobjektiven von mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlagen.

3.     Fig. 1.

25

-----

Fig. 1



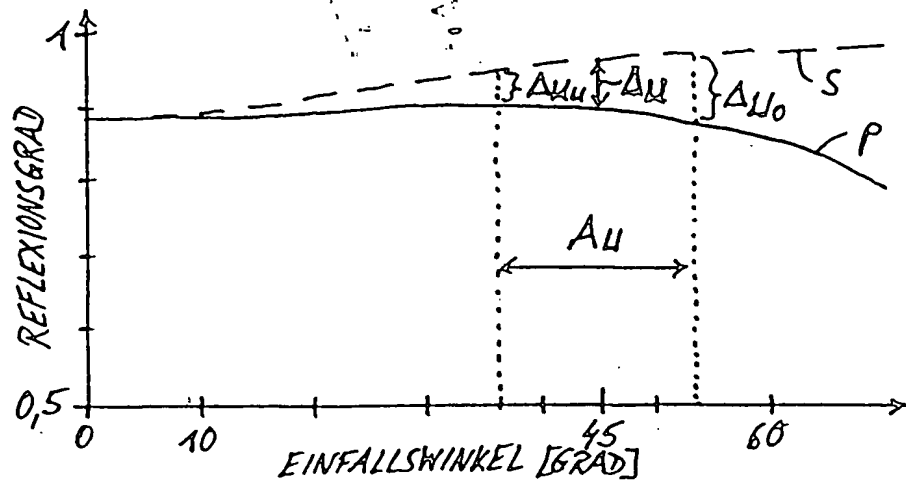


Fig. 3

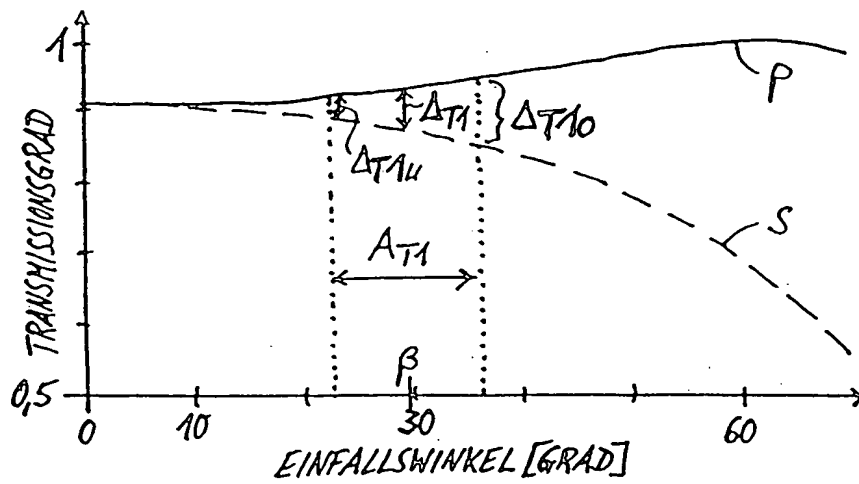


Fig. 4

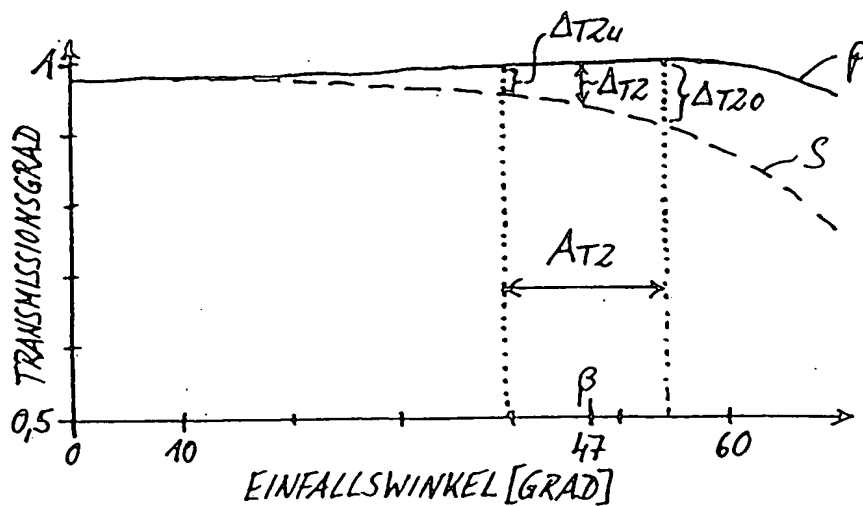


Fig. 5

